

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-028595

(43)Date of publication of application : 28.01.2000

(51)Int.Cl.

G01N 29/24
 A61B 8/00
 G03F 7/40
 H01L 41/09
 H01L 41/22
 H03H 3/02
 H04R 17/00
 // H01L 21/3065

(21)Application number : 10-196133

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD
ESASHI MASAKI

(22)Date of filing : 10.07.1998

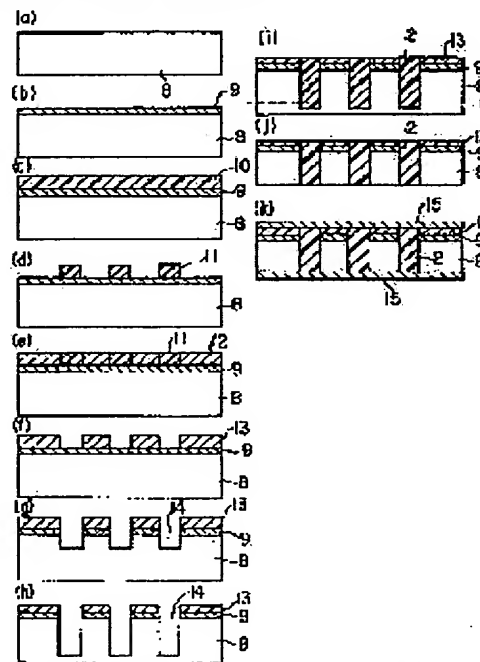
(72)Inventor : WAKABAYASHI KATSUHIRO
FUNAKUBO TOMOKI
SAWADA YUKIHIKO
ESASHI MASAKI
O SHIDAN

(54) MANUFACTURE OF PIEZOELECTRIC STRUCTURE AND COMBINED PIEZOELECTRIC VIBRATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To manufacture a piezoelectric structure which is finely processed by selectively etching a piezoelectric body block, using a plasma for etching.

SOLUTION: A nickel film 13 patterned is formed on a Cr/Au electrode 9 by removing a resist layer 11 with a solvent. The nickel film 13 has a pattern, in which a window is opened corresponding to a portion to be etched and removed of the piezoelectric body block 8 and forms a mask to etch the piezoelectric body block 8. According to the pattern of the mask, the piezoelectric body block 8 is subjected to an etching. A piezoelectric structure is manufactured, for example, by forming a pillar piezoelectric body from the piezoelectric body block 8 or forming an aperture or a groove on the piezoelectric body block 8 through the etching. The etching is carried out by a dry etching using a plasma for a reactive gas. Namely, radicals of the reactive gas is produced, and the etching is carried out by the radicals.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-28595

(P2000-28595A)

(43) 公開日 平成12年1月28日 (2000.1.28)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G 0 1 N 29/24	5 0 2	G 0 1 N 29/24	5 0 2
A 6 1 B 8/00		A 6 1 B 8/00	
G 0 3 F 7/40	5 2 1	G 0 3 F 7/40	5 2 1
H 0 1 L 41/09		H 0 3 H 3/02	B
41/22		H 0 4 R 17/00	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-196133

(22) 出願日 平成10年7月10日 (1998.7.10)

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(71) 出願人 000167989

江刺 正喜

宮城県仙台市太白区八木山南1丁目11番地
9

(72) 発明者 若林 勝裕

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外4名)

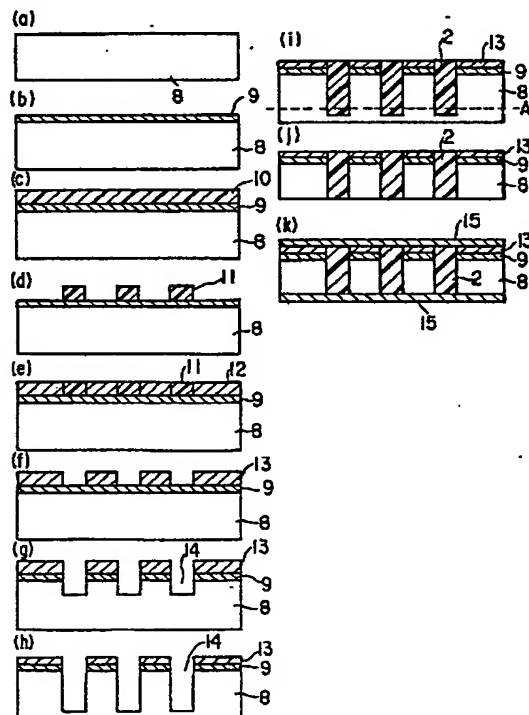
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電構造体の製造方法および複合圧電振動子

(57) 【要約】

【課題】 微細に加工された圧電構造体を製造することが可能な圧電構造体の製造方法を提供する。

【解決手段】 圧電体ブロックをエッチング用ガスのプラズマを用いて選択的にエッチングすることを特徴とする圧電構造体の製造方法。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電体ブロックをエッチング用ガスのプラズマを用いて選択的にエッチングすることを特徴とする圧電構造体の製造方法。

【請求項2】 該エッチング用ガスとしてフッ化物を用い、反応性イオンエッチング法により該圧電体ブロックをエッチングすることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項3】 離間配置された複数の柱状の圧電体と、該柱状圧電体間の隙間を少なくとも部分的に充填する有機充填物と、
該柱状圧電体の各端面に電気的に接続される第1および第2の電極とを含む複合圧電振動子であって、
該柱状圧電体はその側面にフッ化物が形成されていることを特徴とする複合圧電振動子。

【請求項4】 少なくとも一方の表面から少なくとも1つの貫通もしくは未貫通の孔もしくは溝が形成された圧電体ブロックと、
該孔もしくは溝を少なくとも部分的に充填する有機充填物と、
該圧電体ブロックの該一方の表面および他方の表面に電気的に接続される第1および第2の電極とを含む複合圧電振動子であって、
該孔もしくは溝の側面にフッ化物が形成されていることを特徴とする複合圧電振動子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、微細に加工された圧電セラミックス構造体を製造することが可能な圧電セラミックス構造体の製造方法およびこの圧電セラミックス構造体を用いた複合圧電振動子に関する。

【0002】

【従来の技術】 超音波探触子の構造は、『医用超音波機器ハンドブック』（（社）日本電子機械工業会編、コロナ社、1985. 4. 20、p186）に示される様に、両面に電極を形成した圧電セラミックス板からなる圧電素子、該圧電素子の超音波を送受する側の面に形成された音響整合層および音響レンズ、ならびに該圧電素子の背面側に形成された背面負荷材が一体化された構成となっている。

【0003】 超音波探触子の駆動は、上記圧電素子にバルサから百〜数百ボルト程度の電圧の駆動パルスを加えて、該圧電素子を逆圧電効果により急速に変形させ、変形により励起された超音波パルスを音響整合層および音響レンズを経て放射することにより行われる。

【0004】 発振された超音波パルスは、対象物によって反射される。反射する対象物としては、医療用途に関しては体内の各組織の界面であり、また非破壊検査用に関しては被測定物内部の傷等の非連続部である。対象物から反射された超音波パルスは、該音響レンズおよび音

響整合層を経て圧電素子に再入射し、圧電素子を振動させる。このような圧電素子の機械的振動は、圧電効果により電気信号に変換されたのち、観測装置に送られて画像化される。

【0005】 一般的には、この超音波探触子には圧電セラミックスが用いられるが、近年圧電セラミックスと樹脂とを複合化した複合圧電体のロッドが、電気-機械エネルギー変換器として実際に利用され始めている。

【0006】 従来、複合圧電体のロッドの製造方法の一つの形態として、特開昭60-85699（以下、先行文献1と記す）に示されているように、バルクの圧電体をダイシングする方法がある。すなわち、ジルコン酸チタン酸鉛（PZT）等のバルクの圧電体を接着剤を用いて基台に貼り付けたのち、基台上のバルク圧電体をダイシング装置を用いてマトリクス状にダイシングする。ダイシングにより形成された溝の部分にエポキシやウレタン製の樹脂を充填して硬化した後に、ダイシングしたバルク圧電体を基台から取り外して、複合圧電体のロッドを得る。この方法には、圧電体をダイシングにより裁断してから溝に樹脂を充填して硬化した後に圧電体を基台から取り外して複合圧電体のロッドを得る方法と、圧電体の途中までダイシングしてから樹脂を充填して硬化した後、圧電体を基台から取り外して研削もしくはスライスして複合圧電体のロッドを得る方法とがある。

【0007】 また、複合圧電体のロッドの製造方法の別の形態として、『Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36 (1997) pp. 6062-6064』（以下、先行文献2と記す）に示されているように、デューブX線リソグラフィーおよび樹脂モールドを組み合わせ高アスペクト比の圧電体ロッドを形成し、形成した圧電体間に樹脂を充填して複合圧電振動子を製造する方法がある。

【0008】 具体的には、はじめに基台に400 μ mの厚みのMMA（メタクリル酸メチル）/MAA（メタクリル酸）共重合体からなるレジスト膜を作製する。

【0009】 次に、該レジスト膜にマスクを介してシンクロトロン放射光を照射したのち現像して、複数の穴が開口されたレジスト構造体を得る。レジスト構造体の複数の穴にPZTスラリーの注入を行う。スラリーの注入は、上記レジスト構造体を樹脂型として用い、PZT粉体、バインダー、および水からなるPZTスラリーを該穴に注入して行う。

【0010】 さらに、PZTスラリーを室温で乾燥固化させてPZTグリーン体を得る。その後、酸素プラズマによって樹脂型のみを除去して、PZTグリーン体を残す。残ったPZTグリーン体を500℃で脱脂（バインダー除去）し、1200℃で本焼成を行う。焼成の結果、直径20 μ m、高さ140 μ mの形状の複数のPZTロッドからなるPZTロッドアレイが形成される。

【0011】 次に、このロッドアレイにエポキシ樹脂を

真空含浸して硬化させる。硬化させた後、ロッドアレイの上下面をPZTロッドの両端の表面が露出するまで研磨して平坦化し、平坦化した上下両面に金電極をスパッタリングにより成膜する。そして、ロッドアレイをオイルバス中に浸漬した状態で電極に電圧を印加して分極処理を行い、圧電性が付与された複合圧電振動子を得る。得られた振動子の周波数定数は、 $700\text{ kHz}\cdot\text{mm}$ 以下であり、小型・薄型な振動子を作製することが出来る。

【0012】しかし、上述の従来の方法によって製造された複合圧電体のロッドには以下のような不具合があった。

【0013】(1) 先行文献1に記載された方法により作製された複合圧電体のロッドにおいては、作製する圧電体の径を小さくしすぎるとダイシングのときに圧電体が壊れる可能性があった。そのため、圧電体の径をあまり小さく、例えば $100\mu\text{m}$ 以下にすることが難しく、高周波化して厚さの薄くなった複合圧電振動子の圧電体ロッドのアスペクト比を上げることが困難であった。裁断により圧電体の径を小さくしアスペクト比を上げることが困難であるため、複合圧電振動子を受受する超音波の周波数を上げることが難しく、複合圧電振動子を用いた診断装置の分解能を向上させることには限界があった。

【0014】また、圧電体をダイシングによって作製するために圧電体の側面は平滑面となっていた。平滑面であるために、樹脂との接着にはアンカー効果が期待できず、密着が不十分となり耐久性に問題があった。

【0015】(2) 先行文献2に記載された方法により作製された複合圧電体のロッドにおいては、圧電体が焼成時に倒れないようにするために、圧電体の径は数十 μm が限界であった。このため、圧電体のアスペクト比を大きくすることが難しく、周波数を上げた高アスペクト比の複合圧電体のロッドを得ることには限界があった。

【0016】また、圧電体は樹脂型から作製するために、圧電体の側面は平滑面であつ傾きが一定であった。そのため、圧電体と樹脂との間の接着にはアンカー効果が期待できず、密着が不十分となり耐久性に問題があるとともに、圧電体の形状にも制限が多かった。

【0017】さらに、樹脂型を使用した際にはホットプレスや熱間等方圧プレス(HIP)処理がかけられないために、高密度化を達成できず、本来持つ圧電体の特性を十分に引き出すことができないでいた。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、微細に加工された圧電構造体を製造することが可能な圧電構造体の製造方法、および、樹脂と圧電体との間の密着性が高く微細で高密度化された複合圧電振動子を提供することである。

【0019】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明によれば、圧電体ブロックをエッチング用ガスのプラズマを用いて選択的にエッチングすることを特徴とする圧電構造体の製造方法が提供される。

【0020】本発明においては、該エッチング用ガスとしてフッ化物を用い、反応性イオンエッチング法により該圧電体ブロックをエッチングすることが好ましい。

【0021】また、本発明によれば、離間配置された複数の柱状の圧電体と、該柱状圧電体間の隙間を少なくとも部分的に充填する有機充填物と、該柱状圧電体の各端面に電気的に接続される第1および第2の電極とを含む複合圧電振動子であって、該柱状圧電体はその側面にフッ化物が形成されていることを特徴とする複合圧電振動子が提供される。

【0022】また、本発明によれば、少なくとも一方の表面から少なくとも1つの貫通もしくは未貫通の孔もしくは溝が形成された圧電体ブロックと、該孔もしくは溝を少なくとも部分的に充填する有機充填物と、該圧電体ブロックの該一方の表面および他方の表面に電気的に接続される第1および第2の電極とを含む複合圧電振動子であって、該孔もしくは溝の側面にフッ化物が形成されていることを特徴とする複合圧電振動子が提供される。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図面を参照して説明する。

【0024】<本発明に係る複合圧電振動子および圧電構造体の構造>まず、本発明に係る複合圧電振動子および圧電構造体の構造を説明する図1は、本発明に係る複合圧電振動子の例を示す図である。図1(a)は一例として直方体の外形を有する複合圧電振動子を示す概略斜視図であり、図1(b)は一例として円柱体の外形を有する複合圧電振動子を示す平面図である。

【0025】複合圧電振動子は、例えば複数の柱状の圧電体1から形成された圧電構造体、圧電体1の隙間に充填された有機充填物2、および各圧電体1のそれぞれの端面を含む面に電気的に接続される電極(図示せず)を含んでいる。

【0026】圧電体1は、例えばセラミックスなどから形成される。セラミックスとしては、圧電性が得られるセラミックスであれば特に限定されない。圧電性が得られるセラミックスとしては、例えばチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)系セラミックス、亜鉛ニオブ酸鉛とチタン酸鉛(PZN-PT)系セラミックス、マグネシウムニオブ酸鉛とチタン酸鉛(PMN-PT)系セラミックスなどが挙げられる。PZT系セラミックスを使用した場合には、例えば、周波数定数として Nt が約 $2000\text{ Hz}\cdot\text{m}$ 、 $N33$ が約 $1300\text{ Hz}\cdot\text{m}$ の材料を用いることができる。

【0027】圧電体1は、例えば上述のセラミックス材料の粉体を焼成したもの、またはセラミックス材料の単

結晶から研削または切出したものからなる。粉体を焼成したものよりも単結晶から研削または切出したものの方が好ましい。単結晶の方が焼結したものよりも配向性と密度が高く圧電特性に優れるからである。単結晶としては、特に固溶体単結晶のような単結晶が好ましい。単結晶は、結晶欠陥が非常に少ないために圧電特性がとて良好であるからである。そのため、圧電単結晶からなる圧電構造体を使用して超音波探触子としたときには、S/N比が向上し、高分解能化を達成することができる。

【0028】圧電体1から形成された圧電構造体の構造については後述する。

【0029】圧電体1の隙間に充填される有機充填物2としては、圧電体1との密着強度の高い有機充填物2であれば特に限定されないが、柔軟性のある有機充填物2が好ましい。このような有機充填物2としては、例えばエポキシ樹脂、ウレタン樹脂、シリコン樹脂などの樹脂が挙げられる。エポキシ樹脂としては、例えば、室温硬化して硬化後に硬度がショアーA90程度となるようなものが好ましい。

【0030】また、有機充填物2は、複合圧電振動子を用いて製造される超音波探触子に使用する音響整合層の材料と同じものからなることが好ましい。有機充填物2が音響整合層をなす材料と同じものからなると、必要十分な特性を有する超音波探触子の製造が容易になる。

【0031】有機充填物2は、例えば、それぞれの圧電体1の両端面が露出するように、圧電体1間の隙間に少なくとも部分的に充填されている。

【0032】圧電構造体に有機充填物2を充填することで、複合圧電振動子全体としての密度を下げるができる。従って、有機充填物2の充填する量などを調整することによって、複合圧電振動子の音響インピーダンス（密度と音速の積）を人体の音響インピーダンスに近づけることができる。音響インピーダンスが人体のそれに近づくことで、この複合圧電振動子を用いた医療用超音波探触子においては、効率よく超音波を送受することが可能となり感度および分解能が向上するため、高精度の画像診断が可能となる。

【0033】電極は、各圧電体1の両端面、例えば第1および第2の端面を含む面に電氣的に接続される第1および第2の電極からなる。通常、電極は、各端面において共通電極として機能するように、各端面の全面に形成される。

【0034】電極の材料としては、電極の形成時に有機充填物2に大きなダメージを与えないものであれば特に限定されない。このような電極の材料としては、金属材料、化合物材料などが挙げられる。金属材料としては、例えば、金、銅、チタン、ニッケル、銀、白金、クロムなどの金属単体、およびこれらの金属単体を組み合わせたクロム/金などの積層体が挙げられる。化合物材料としては、例えばITO（酸化インジウム錫）などが挙げ

られる。電極の形成の仕方としては特に限定されないが、例えばスパッタリング、蒸着、イオンプレーティングなどが挙げられる。

【0035】本発明に係る圧電構造体は、例えば以下に示すような第1～第5の形態の構造をなす。

【0036】第1の形態の圧電構造体は、図1(a)、図1(b)に示したように、複数の円柱状の圧電体1が長手軸を互いに実質的に平行にして互いに離間して配置された構造となっている。圧電体1は、それぞれ長手軸と実質的に垂直な第1の端面と第2の端面とを有しており、また側面は長手軸と実質的に平行となっている。

【0037】第2の形態の圧電構造体は、図2に示した円錐台の圧電体1が、複数個、長手軸を互いに実質的に平行にして互いに離間に配置された構造となっている。

【0038】図2の圧電体1は、例えばそれぞれ長手軸と実質的に垂直な第1の端面と第2の端面とを有している。そして、図2の圧電体1の第1の端面と第2の端面、例えば上端面と下端面の面積が異なっているため、圧電体1の側面には一定のテーパが設けられている。図2では、例として上端面よりも下端面の方が面積が大きい圧電体1を示している。図2に示すような圧電体1の形状としては、例えば、長さが約 $15.0\mu\text{m}$ で、長手軸に垂直な断面が円形で、PZT系材料から形成されているときに、上端面の直径が 1.0 ないし $5.0\mu\text{m}$ で、下端面の直径が 2.0 ないし $6.0\mu\text{m}$ である。

【0039】図2に示す圧電体1はその側面にテーパが付いているため、圧電体1の長手軸方向以外の振動モードが抑制され、不要振動が低減する。不要振動が低減するため、本形態の圧電構造体を用いた超音波探触子においては、S/N比が向上し、高分解能化を達成することができる。

【0040】第3の形態の圧電構造体は、図3に示したように、角柱体と角錐台とを組み合わせた柱状の圧電体1が、複数個、長手軸を互いに実質的に平行にして互いに離間に配置された構造となっている。

【0041】図3の圧電体1は、より具体的には、四角柱体1aとその上端部に一体に連接された四角錐台部1bからなり、その長手軸と実質的に垂直な第1の端面と第2の端面とが異なる面積を有している。なお、図3では、一例として四角柱と四角錐台とを組み合わせた柱状の圧電体1を示したが、例えば円柱と円錐台とを組み合わせた柱状でも良い。

【0042】図3に示す圧電体1の両端面の形状としては、例えば、圧電体1が全長が約 $10.0\mu\text{m}$ でPZT系材料から形成されているときに、上端面が約 $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ 、下端面が約 $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ となるような端面である。

【0043】図3に示す圧電体1の側面は、四角錐台部1bを除いて四角柱体1bにおいて長手軸と実質的に平行となっており、四角錐台部1bは長手軸に対して一定

のテーパを有している。四角柱体1aの長手軸方向の長さとしては、例えば50 μ m程度である。

【0044】本形態の圧電構造体においては、図3に示す圧電体1が、四角柱体1aの側面同士が対向して配置されている。対向する側面の間には、非常に狭い隙間4、例えば数10nmから数 μ m程度の隙間4が形成されている。

【0045】有機充填物2は、数 μ m以下の隙間4には入らないほどに高い粘性のものが使用されている。従って、有機充填物2は、四角錐台部1bのテーパの付いた側面の間のみを埋めるように充填され、四角柱体1aの側面の間の隙間4には充填されていない。隙間4には、従って、空気があるだけとなっている。

【0046】図3に示す圧電体1の四角錐台部1bの側面にテーパが設けられているため、圧電体1の長手軸方向以外の振動モードが抑制され、不要振動が低減する。不要振動が低減するため、本形態の圧電構造体を用いた超音波探触子においても、S/N比が向上し、高分解能化を達成することができる。

【0047】また、図3に示す各圧電体1は、四角柱体1aの側面部分において、有機充填物2ではなく空気を介して数 μ mの間隔で高密度に隣接して振動絶縁されている。このことにより、本形態の圧電構造体を用いた超音波探触子においては、より高いS/N比と高い送受信効率とが実現される。第4の形態の圧電構造体は、図4および図5に示した柱状の圧電体1が、複数個、長手軸を互いに実質的に平行にして互いに離間に配置された構造となっている。

【0048】図4および図5の圧電体1は、例えば、それぞれ長手軸と実質的に垂直な第1の端面と第2の端面とを有しており、側面が起伏を有している。

【0049】図4および図5に示す圧電体1の側面が起伏を有していることにより、アンカー効果により圧電体1と有機充填物2との間の密着性が高まるとともに、圧電体1の長手軸方向以外の振動モードが抑制されて不要振動が低減する。不要振動が低減するため、本形態の圧電構造体を用いた超音波探触子においても、S/N比が向上し、高分解能化を達成することができる。

【0050】起伏としては、例えば、長手軸に垂直な圧電体1の断面の形状が相似形を保ったまま、この断面の大きさが長手軸に沿って増減することで側面が起伏しているものが挙げられる。増減としては、例えば、同じ増減を繰り返すものと、そうでないものが挙げられる。

【0051】図4は、圧電体1の長手軸に垂直な断面の大きさが同じ増減を繰り返している例である。このような断面としては、例えば円形、四角形、扇形の一部をなす形状などが挙げられる。

【0052】扇形の一部をなす形状とは、2つの同心の円弧と2本の直径によって囲まれた図形のことを意味する。2本の直径のなす角度は、例えば180度以下であ

る。または、2つの同心円によって囲まれた帯状の領域が2本の直径によって切取られた図形のことを意味する。2本の直径のなす角度は、例えば180度以下である。

【0053】図4(a)は、円形の断面を有する圧電体1を示す斜視図である。図4(a)に示したように、圧電体1の長手軸に垂直な断面が相似な円形を保ったまま、この円形の直径が圧電体1の長手軸に沿って増減することで側面が起伏している柱状の圧電体1となっている。

【0054】図4(b)は、四角形の断面を有する圧電体1を示す斜視図である。図4(b)に示したように、圧電体1の長手軸に垂直な断面が相似な四角形を保ったまま、この四角形の大きさが長手軸に沿って増減することで側面が起伏している柱状の圧電体1となっている。

【0055】図4(c)は、扇形の一部をなす形状の断面を有する圧電体1を示す斜視図である。図4(c)は、圧電体1の長手軸に垂直な断面が扇形の一部をなす形状の相似形を保ったまま、この形状の大きさが長手軸に沿って増減することで側面が起伏している柱状の圧電体1となっている。

【0056】なお、図4に示す圧電体1の断面の大きさの増減は、長手軸に沿って周期的であっても良いし、周期的でなく不規則であっても良い。

【0057】図5は、圧電体1の長手軸に垂直な断面の大きさが同じ増減を繰り返さない例である。

【0058】図5では、例として円形の断面を有する圧電体1の場合の概略斜視図を示すが、圧電体1の断面としては、円形以外のもの、例えば前述した四角形や扇形の一部をなす形状であっても良い。

【0059】図5(a)は、長手軸に垂直な圧電体1の断面の大きさが長手軸に沿って増加と減少を繰り返しながら、圧電体1の断面積は平均として長手軸に沿って単調増加または減少している。

【0060】図5(b)は、長手軸に垂直な圧電体1の断面の大きさが長手軸に沿って増加と減少を繰り返しながら、圧電体1の断面積は平均として長手軸に沿って増加および減少をしている。

【0061】図5(c)は、図5(b)に示した圧電体1が長手軸に沿って繰り返されている柱状の圧電体1を示す。圧電体1の断面積は平均として長手軸に沿って増加および減少を繰り返している。

【0062】なお、図5に示す圧電体1の断面の大きさの増減は、長手軸に沿って周期的であっても良いし、周期的でなく不規則であっても良い。

【0063】第5の形態の圧電構造体は、少なくとも一方の表面から少なくとも1つの貫通もしくは未貫通の孔もしくは溝が形成された圧電体ブロックからなる。該孔もしくは溝は、圧電体ブロックの1つの表面から形成されても良いし、前面と背面などの2つの表面から形成さ

れても良い。

【0064】例として、図6(a)においては1つの表面から孔5が形成された圧電体ブロック6を示し、図6(b)においては1つの表面から溝7が形成された圧電体ブロック6を示す。

【0065】図6(a)において、孔5の深さ方向に垂直な断面としては円形または四角形などがあり特に限定されない。また、図6(b)においても、溝7の深さ方向に垂直な断面としては直線状または曲線状などがあり特に限定されない。孔5もしくは溝7の深さとしては、例えば約120 μ mである。

【0066】該孔もしくは溝に少なくとも部分的に有機充填物2を充填して、有機充填物2が充填された前面、および背面に電極を形成することにより、複合圧電振動子が形成される。

【0067】以上、説明した第1～第5の形態を有する本発明に係る圧電構造体は、後述するようにエッチング用の反応性ガスのプラズマを用いて圧電体ブロックをドライエッチングすることによって製造される。エッチング時の基板温度、ガス圧、誘導電力等のエッチング条件を調整するなどして、例えば、第1～第4の形態のような柱状の圧電体からなる圧電構造体、または第5の形態のような孔もしくは溝が形成された圧電体ブロックを製造する。

【0068】ドライエッチングを用いて製造するため、微細な形状の圧電構造体、ひいては微細な形状の複合圧電振動子が製造でき、高分解能な複合圧電振動子が得られる。また、圧電体ブロックは、例えばセラミックス材料の粉末を焼成したものか、または単結晶であるために密度が高い。そのため高密度な圧電構造体が製造でき、やはり高分解能な複合圧電振動子が得られる。

【0069】また、ドライエッチングを用いているため、有機充填物と接触する圧電体の面、例えば柱状圧電体の側面または孔もしくは溝の側面、には切削屑や油分が付着しておらず清浄であり、その表面が改質された状態となっている。圧電体の面が清浄で改質されているため、有機充填物との密着強度が高い。有機充填物との密着強度が高いために、最終的に製造される超音波探触子の耐久性が向上するとともに、複合圧電振動子の曲げに対する強度が向上して、凹面状をはじめとする複雑な形状に複合圧電振動子を変形させることが可能となる。

【0070】なお、本発明に係る圧電構造体においては、圧電体の有機充填物と接触する面にはフッ化物が形成されていることが好ましい。後述するように、反応性ガスとしてフッ化物を用いてエッチングすることによって、圧電体の有機充填物と接触する面にフッ化物を形成することができる。

【0071】図7は、一例として、柱状の圧電体1の側面にフッ化物3が形成されている様子を模式的に示す斜視図である。

【0072】フッ化物3は、圧電体1の側面に密着して形成されており、圧電体1の側面に起伏を起している。フッ化物3は、例えば網の目状にまたは点在した状態で不均一に形成されており、大きさ、厚みは一定していない。フッ化物3の大きさ、厚みなどは、例えば走査型電子顕微鏡(SEM)などを用いて測定することができる。フッ化物3の組成としては、フッ化鉛(PbF_x)(x は組成比)や、フッ化ジルコニウム(ZrF_x)、フッ化イットリウム(YF_x)などが挙げられる。フッ化物3の組成は、例えばSEM・EDX(走査型電子顕微鏡のエネルギー分散型X線分光)などを用いて、測定することができる。フッ化物3の大きさ、厚み、組成等は、後述するように、圧電構造体を製造するときのエッチング条件によって調整できる。

【0073】圧電体1の有機充填物2と接触する面がフッ化物3により起伏を有しているために、有機充填物2との間でのアンカー効果が高まり有機充填物2との密着強度がより高まる。

【0074】＜本発明に係る複合圧電振動子および圧電構造体の製造方法＞次に、本発明に係る複合圧電振動子および圧電構造体の製造方法を説明する。

【0075】本発明に係る複合圧電振動子を製造する方法は、(I)最初に背面電極を形成しない製造方法、

(II)最初に背面電極を形成する製造方法に分類される。

【0076】それぞれの製造方法において、以下の工程が含まれる。

【0077】すなわち、(1)圧電構造体を製造する工程、(2)有機充填物を充填する工程、(3)電極付与および圧電性付与の工程である。

【0078】また、(1)圧電構造体を製造する工程には、以下の工程が含まれる。

【0079】すなわち、(1-a)圧電体ブロックを作製する工程、(1-b)圧電体ブロックにマスクを形成する工程、(1-c)圧電体ブロックをエッチング加工する工程である。

【0080】(I)最初に背面電極を形成しない製造方法

図8を参照して、上述の各工程について順番に説明する。

【0081】(1)圧電構造体を製造する工程

(1-a)圧電体ブロックを作製する工程

図8(a)に示すように、まず圧電体ブロック8、つまりバルクの圧電体を作製して用意する。

【0082】圧電体ブロック8を形成する材料としては、例えばセラミックスなどが挙げられ、圧電性が得られるセラミックスであれば特に限定されない。圧電性が得られるセラミックスとしては、前述したように、例えばPZT系セラミックス、PZN-PT系セラミックス、PMN-PT系セラミックスなどが挙げられる。

【0083】圧電体ブロック8の作製は、例えば、上述のセラミックス材料の粉体を焼成するか、またはセラミックス材料の単結晶を研削または切出すなどして行う。前述したように、焼成したものよりも単結晶から研削または切り出したものの方が好ましい。また、単結晶としては、特に固溶体単結晶のような単結晶が好ましい。

【0084】焼成による圧電体ブロック8の作製には、当該技術分野において良く知られた方法を用いることができる。例えば、上述のセラミック材料の粉体を所望の組成で混合し、混合した粉体を仮焼したのち粉砕し、粉砕したものを成形性を向上させるためのバインダーと混ぜたのち整粒し、整粒したものをプレスしてセラミックスのペレットを作製する。このペレットを600℃程度で加熱して、含有されている有機物を除去したのち、1200℃程度のもとでホットプレスして焼結して焼成体を得る。焼成体を、スライサー、平面研削盤、そして必要に応じて両面ラップ盤などを用いて成形して、圧電体ブロック8を作製する。

【0085】なお、圧電体ブロック8として単結晶を用いるときには、単結晶の結晶方位を考慮して圧電体ブロック8を作製する。例えば、単結晶の〈111〉などの圧電特性が最も良い結晶方位が圧電体の長手軸となるように、単結晶を研削または切り出して圧電体ブロックとする。

【0086】(1-b) 圧電体ブロックにマスクを形成する工程

圧電体ブロック8をエッチングするためのマスクを圧電体ブロック8に形成する。このマスクに従って圧電体ブロック8をエッチングして、前述したように圧電構造体を作製する。

【0087】マスクは、例えば、以下のようにして形成する。

【0088】図8(b)に示すように、まず、圧電体ブロック8にスパッタリングなどによりクロム(Cr)そして金(Au)を成膜して、Cr/Au電極9を形成する。

【0089】図8(c)に示すように、Cr/Au電極9上に樹脂性のフォトリソ resist 10を塗布する。

【0090】図8(d)に示すように、製造する圧電構造体に基づいたパターンをレジスト層10に露光したのちに現像して、Cr/Au電極9上にパターンニングされたレジスト層11を形成する。レジスト層11は、圧電体ブロック8の例えば柱状圧電体として残すべき部分に対応して窓が開いているようにパターンニングされている。レジスト層11のパターンの形状、寸法は、製造する圧電構造体の形状、寸法による。例えば、圧電構造体が複数の円柱形状の圧電体1を含むときには、この円柱の直径を有する複数の円形の窓が開いているなどである。

【0091】図8(e)に示すように、レジスト層11

およびCr/Au電極9が形成された圧電体ブロック8をニッケルイオン溶液中に浸漬してCr/Au電極9に負の電圧を印加して電解ニッケルメッキを行い、Cr/Au電極9上にニッケル膜12を形成する。電解ニッケルメッキを用いることによって、膜厚の大きいニッケル膜12を比較的短い時間で形成することができる。ニッケル膜12は、レジスト層11が形成されていないCr/Au電極9上のみ形成される。すなわち、圧電体ブロック8の残すべき部分に対応してニッケル膜12が形成される。

【0092】図8(f)に示すように、レジスト層11を溶剤で除去することにより、Cr/Au電極9上にパターンニングされたニッケル膜13が形成される。このニッケル膜13は、圧電体ブロック8のエッチング除去すべき部分に対応して窓が開いているパターンを有しており、圧電体ブロック8をエッチングするためのマスクとなる。また、このニッケル膜13は圧電構造体に付与すべき電極の一部ともなる。

【0093】なお、上述の方法では、エッチング用のマスクを電解ニッケルメッキによって形成したが、これに限定されるものではない。つまり、マスクとしてはエッチングの選択比(エッチングレート)が圧電体ブロック8と比較して低いものであればよく、材料および形成方法には特に限定されない。例えば、樹脂性のフォトリソ resist 自体をエッチング用のマスクとしても良いし、CVD法で成膜した酸化珪素(SiO_2)膜もしくは窒化珪素(Si_3N_4)膜、または電解メッキによる銅(Cu)膜などをマスクとして用いても良い。

【0094】(1-c) 圧電体ブロックをエッチング加工する工程

上述のようにして形成したマスクのパターンに従って、圧電体ブロック8をエッチング加工する。エッチング加工により、前述したように、例えば圧電体ブロック8から柱状圧電体を形成するか、または圧電体ブロック8に孔もしくは溝を形成することによって、圧電構造体を作製する。

【0095】エッチングは反応性ガスのプラズマを用いたドライエッチングにより行う。すなわち、反応性ガスのラジカルを生成してこのラジカルによってエッチングを行う。ラジカルを用いるエッチング技術は、シリコンプロセスの分野において良く知られている技術である。エッチングは一度だけでなく繰り返して行っても良い。

【0096】ラジカルを生成するための反応性ガスとしては、例えば、四塩化炭素(CCl_4)などの塩化物、六フッ化硫黄(SF_6)、四フッ化炭素(CF_4)などのフッ化物を用いる。塩化物よりもフッ化物の方が好ましい。それは、フッ化物を用いた方が、エッチレートが高く、また前述したようにエッチング後の圧電体の側面にフッ化物の残滓が残るからである。また、 CF_4 よりも SF_6 の方が好ましい。それは、 SF_6 の方がエッ

チングレートがよ

【0097】上述し

ング方法としては、

IE) 法、ICP

ディープRIE法が

【0098】RIE

中性活性種の両方を

周波誘導磁場によ

し、この加速され

のプラズマを用い

IE法は、圧電体

ングとマスキング

件およびマスキ

起伏のある深い開

【0099】まず、

チングを用いた製

IE法によるエッ

後述する。

【0100】図8

スクに従ってRIE

を行うことで、圧

向に平行である開

基板温度、ガス圧

整することで、後

を有する開口部1

【0101】なお、

るフッ化ニッケル

うな堆積物が開口

ように堆積物が析

性ガスをエッチン

オンによるスパッ

除去するなどの方

【0102】本発

化物を用いて上述

することで、エッ

側面にフッ化物を

【0103】図9

積された様子を示

例えば、網の目状

4の側面に密着し

厚みは一定してい

は、例えば走査型

定することができ

形成されることで

された柱状圧電体

た孔もしくは溝を

ができる。

【0104】フッ

bF_x) (Xは組

F_x)、フッ化イ

つながるように、露出する有機充填物2を含む前面の全面に電極15は形成される。

【0113】前面および背面に電極15を付与したのち、両電極15間にDC電圧を印加して圧電体1の分極処理を行って圧電体1に圧電性を付与する。分極処理は、例えば図8(k)に示した構造を80℃程度に加温しながら電極15間にDC電圧を印加して行う。

【0114】最後に、外形を四角形または円形などに加工することにより、複合圧電振動子が得られる。

【0115】次に、図10を参照して、ディープRIE法によるエッチングを用いて複合圧電振動子を製造する方法について説明する。

【0116】本方法は、エッチング工程の部分以外は、図8を参照して説明した前述の製造方法と同じである。

【0117】つまり、図10(a)～(f)の工程は、図8(a)～(f)の工程と同様である。そして、図10(g)～(j)に示したディープRIE法によるエッチング工程を、図8(g)～(h)に示したエッチング工程の代わりに行う。エッチングのあとの図10(k)～(m)の工程は、図8(i)～(k)の工程と同様である。

【0118】以下、図10(g)～(j)のエッチング工程の部分についてのみ説明する。

【0119】ディープRIE法を用いる場合には、前述したエッチング用の反応性ガスの他に、マスク用の膜の生成に用いるイオンを生成するためのガスも用いる。このようなガスとしては、例えば C_4F_8 である。

【0120】本製造方法のエッチング工程においては、まず、図10(g)に示すように、上述の反応性ガスを用いた反応性イオンエッチングを行って開口部14を形成する。次に、図10(h)に示すように、マスク用の膜を生成するためのガスのプラズマを用いて、エッチングにより形成された開口部14を含む試料の表面にマスク用の膜16を形成する。次に、図10(i)に示すように、膜16の上から再び反応性イオンエッチングを行う。反応性イオンエッチングにより、ニッケル膜13の上面および開口部14の底面はエッチングされるが、エッチングレートの低い開口部14の側面はマスク用の膜16によって保護されているためエッチングされない。このように、開口部14の側面がエッチングされず底面のみがエッチングされることで、開口部14の深さが増加する。

【0121】図10(h)～(i)に示したエッチングおよびマスクを、それぞれの条件を調整しながら繰り返す。工程を繰り返す間隔としては、例えば数秒から数分である。

【0122】このように工程を繰り返すことで、図10(j)に示したように深さが非常に大きい開口部14を形成することができる。非常に深い開口部14が形成されることで、最終的に、高アスペクト比の柱状圧電体、

または非常に深い孔もしくは溝が形成された圧電体を作製することができる。

【0123】また、エッチングおよびマスクの工程を、それぞれの条件を調整しながら繰り返すことにより、開口部14の側面に起伏を設けることができる。開口部14の側面に起伏を設けることで、最終的に、起伏のある側面を有する柱状圧電体、または起伏の設けられた側面を有する孔もしくは溝が形成された圧電体を作製することができる。

【0124】なお、本製造方法においても、エッチング用の反応性ガスとしてフッ化物を用いることで、前述したように、エッチングにより形成された開口部14の側面にフッ化物を堆積させることができる。

【0125】また、本製造方法においても、エッチングを妨げるフッ化ニッケル(NiF_x)(x は組成比)などのような堆積物が開口部14内に析出したときには、前述したように、アルゴンなどの不活性ガスのイオンによるスパッタリング等によって堆積物を物理的に除去するなどを行えば良い。

【0126】(I1)最初に背面電極を形成する製造方法

図11を参照して、各工程について説明する。

【0127】(1)圧電構造体を製造する工程
(1-a)圧電体ブロックを作製する工程(図11(a))

まず、図8(a)での説明と同様に、圧電体ブロック8を作製する。

【0128】次に、作製した圧電体ブロック8の背面全面に背面電極17を形成する。

【0129】この背面電極17は、後述するように、エッチングの終点を定めること、および圧電構造体に付与すべき電極の一方となることに寄与する。

【0130】背面電極17としては、エッチングの選択比(エッチングレート)が圧電体ブロック8と比較して低い導電性材料であれば特に限定されず、また形成方法も特に限定されない。このような背面電極17としては、例えば、無電解メッキで形成されたニッケル膜などが挙げられる。

【0131】(1-b)圧電体ブロックにマスクを形成する工程(図11(b)～(f))

図8(b)～(f)での説明と同様に、圧電体ブロック8をエッチングするためのニッケル膜13などからなるマスクを圧電体ブロック8に形成する。

【0132】(1-c)圧電体ブロックをエッチング加工する工程(図11(g)～(h))

図8(g)～(h)で説明したエッチング方法を用いて、上述のようにして形成したマスクのパターンに従って、圧電体ブロック8をエッチングする。

【0133】エッチングは、エッチングにより形成される開口部14が前述の背面電極17に到達するまで続け

る。前述したように、背面電極17は圧電体ブロック8よりも低いエッチングレートを有しているため、エッチング速度は背面電極17に到達したところで遅くなる。そのため、それぞれの開口部14の深さを背面電極17の位置に揃えることができる。つまり、背面電極17を終点としてそれぞれの開口部14のエッチングを行うことができる。

【0134】なお、ディープRIE法によるエッチングを用いる場合には、前述したように、エッチングとマスキングの工程をそれぞれの条件を調整しながら繰り返して、開口部14が背面電極17に到達するまで続ける。

【0135】背面電極17を終点としたエッチングが行えるため、エッチング時間を厳密に管理する必要がなくなり、エッチング工程の管理が容易となる。

【0136】また、断面積の大きさの違う開口部14を同時に圧電体ブロック8に形成するとき、断面積の大きさが違う開口部14ごとに深さ方向のエッチングレートが異なることがある。このように開口部14によって深さ方向のエッチングレートが異なる場合であっても、背面電極17を終点としてエッチングが行えるために、それぞれの開口部14の深さを背面電極17の位置に揃えることが可能となる。

【0137】また、前述したように、背面電極17は圧電構造体に付与すべき電極の一方となる。つまり、後述の電極付与の工程において圧電体ブロック8に背面電極17を付与する必要がない。そのため、電極付与の工程において、電極を付与するために圧電体ブロック8の背面を研削・研磨する必要がなくなるため、圧電構造体ひいては複合圧電振動子を製造する際の歩留まりを大幅に向上させることができる。

【0138】なお、本製造方法においても、エッチング用の反応性ガスとしてフッ化物を用いることで、前述したように、エッチングにより形成された開口部14の側面にフッ化物を堆積させることができる。

【0139】また、本製造方法においても、エッチングを妨げるフッ化ニッケル(NiF_2)(X は組成比)などのような堆積物が開口部14内に析出したときには、前述したように、アルゴンなどの不活性ガスのイオンによるスパッタリング等によって堆積物を物理的に除去するなどを行えば良い。

【0140】(2)有機充填物を充填する工程(図11(i))

図8(i)で説明した有機充填物2、および充填の仕方によって、開口部14に有機充填物2を充填する。

【0141】(3)電極付与および圧電性付与の工程(図11(j))

図8(k)で説明した電極材料および電極形成の方法を用いて、有機充填物2が露出した圧電構造体の前面にのみ電極15を付与する。圧電構造体の背面から研削・研磨をする必要はない。

【0142】前面に電極15を付与したのち、前面の電極15および背面電極17の両方にDC電圧を印加して圧電体1の分極処理を行って圧電体1に圧電性を付与する。分極処理は、例えば図11(j)に示した構造を80℃程度に加温しながら電極15、17にDC電圧を印加して行う。

【0143】最後に、外形を四角形または円形などの加工することにより、複合圧電振動子が得られる。

【0144】＜第1～第5の形態の圧電構造体を用いた複合圧電振動子の製造方法の例＞次に、前述した第1～第5の形態の圧電構造体を用いた複合圧電振動子を製造する方法について説明する。

【0145】図1に示した第1の形態の圧電構造体を用いた複合圧電振動子は、例えば、 SF_6 ガスを用いたRIE法のエッチングにより、図8に示した工程に従って製造することができる。そして、図8(h)に示したように、側面が深さ方向に平行である開口部14を圧電体ブロック8に形成することができる。その結果、図1に示したような側面が長手軸と実質的に平行となっている柱状圧電体1からなる圧電構造体を作製することができる。

【0146】この圧電構造体に有機充填物2を充填した複合体の厚みは、例えば約100 μm である。この複合体に電極付与および圧電性付与を行い、複合圧電振動子を得る。

【0147】図2に示した第2の形態の圧電構造体を用いた複合圧電振動子は、例えば、 CF_4 ガスを用いたRIE法のエッチングにより、図11に示した工程に従って製造することができる。

【0148】エッチング時の基板温度およびガス圧などのエッチング条件を変えることで、図11(h)に示したように、深さ方向を示す軸に対して側面がほぼ一定の角度で傾斜している開口部14を圧電体ブロック8に形成することができる。その結果、図2に示したような側面には一定のテーパが設けられた圧電体1からなる圧電構造体を作製することができる。

【0149】図3に示した第3の形態の圧電構造体を用いた複合圧電振動子は、例えば、 SF_6 ガスを用いたICP法のエッチングにより、図12に示した工程に従って製造することができる。

【0150】図12に示した(a)～(j)の工程は、エッチング条件が異なる以外は、図11に示した(a)～(j)の工程と同様である。

【0151】図12(g)～(h)のエッチング工程において、エッチング条件としては、例えば、自己バイアスを-400V、ガス圧を10mTorr、エッチング時の圧電体ブロックの温度を-50℃とする。また、エッチングは磁場をかけながら行う。

【0152】そして、エッチング時の誘導電力などのエッチング条件を調整することにより、図12(g)に示

すように、深さ方向を示す軸に対して側面がほぼ一定の角度で傾斜しており、この傾斜した側面が底部で衝突して一つの点または辺を形成している開口部14を、圧電体ブロック8に形成することができる。さらにエッチング条件を調整することにより、図12(h)に示すように、側面が衝突した一つの点または辺からまっすぐ下方に非常に狭い隙間4、例えば数10 nmから数 μ mの直径または幅の隙間4を形成することができる。このような隙間4を形成することによって、図3に示したように、一方の端部の付近にテーパが設けられた柱状の圧電体1を非常に狭い隙間4で互いに離間に配置した圧電構造体を形成することができる。

【0153】図4および図5に示した第4の形態の圧電構造体を用いた複合圧電振動子は、例えば、反応性ガスとして SF_6 ガス、およびマスクング用の膜を生成するためのガスとして C_4F_8 ガスをを用いたディープRIE法によって、図10に示した工程に従って製造することができる。

【0154】そして、エッチング時およびマスクング時の条件を調整することによって、側面に起伏のある開口部14を圧電体ブロック8に形成することができる。側面が起伏している開口部14を形成することによって、図4および図5に示したような側面に起伏のある柱状圧電体1からなる圧電構造体を製造することができる。

【0155】図6に示した第5の形態の圧電構造体を用いた複合圧電振動子は、例えば、反応性ガスとして SF_6 ガス、およびマスクング用の膜を生成するためのガスとして C_4F_8 ガスをを用いたディープRIE法によって、図10に示した工程に従って製造することができる。

【0156】そして、エッチング時およびマスクング時の条件を調整することによって、圧電体ブロック8に非常に深い開口部14を形成することができる。このような開口部14を形成する結果、図6に示したような、一方の表面から少なくとも1つの貫通もしくは未貫通の孔5もしくは溝7が形成された圧電体ブロック6からなる圧電構造体を製造することができる。

【0157】以上、説明した本発明に係る複合圧電振動子には、以下に示すような変形例が考えられる。

【0158】(1) 複合圧電振動子は、圧電構造体の有する少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体と異なる体積を有することが好ましい。

【0159】圧電体の体積が異なると圧電体の共振周波数が異なり、圧電体1が送受する超音波の周波数が異なる。従って、少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体と異なる体積を有することで、複合圧電振動子全体としての帯域が広くなり、超音波探触子とした際に比帯域が広がる。

【0160】少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体と異なる体積を有するというのは、例えば複数の100本の

圧電体1のうち1本だけが他の99本の圧電体と異なる体積を有していても良いし、または、複数の100本の圧電体1のうち2本だけが他の98本の圧電体と異なる体積を有していても良いし、または、複数の100本の圧電体1がすべて異なる体積を有していても良いという意味である。

【0161】このように少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体と異なる体積を有する複数の圧電体1を、複合圧電振動子内に配置する仕方としては、特に限定されない。

【0162】例えば、最も小さい体積を有する圧電体1を中心部に配置して、その周りに中心から周囲に向かって例えば放射状に圧電体1の体積が増加するように圧電体1が配置されていても良い。また、最も大きい体積を有する圧電体1を中心部に配置して、その周りに中心から周囲に向かって例えば放射状に圧電体1の体積が減少するように圧電体1が配置されていても良い。または、ある圧電体1を中心部に配置して、その周りに中心から周囲に向かって例えば放射状に圧電体1の体積が増加と減少を繰り返すように圧電体1が配置されていても良い。または、少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体と異なる体積を有する複数の圧電体1が、振動子内で不規則に配置されていても良い。

【0163】図13は、最も小さい体積を有する圧電体1を中心部にして、その周りに中心から周囲に向かって圧電体1の体積が増加するように圧電体1が配置されている複合圧電振動子の形態を示す図である。図13

(a)は四角形の形状の複合圧電振動子の例を示す平面図であり、図13(b)は円形の形状の複合圧電振動子の例を示す平面図である。

【0164】このような複合圧電振動子において、中心部の圧電体1は体積が小さいために、例えば細い棒の縦振動(N33)モードで振動し、圧電体1の共振周波数としては例えば約13 MHzとなる。

【0165】一方、外周部の圧電体1は体積が大きいために、例えば板の厚み振動(Nt)モードで振動し、圧電体1の共振周波数としては例えば約20 MHzとなる。

【0166】また、中心部と外周部の中間に位置する圧電体1は、その体積がやはり中心部のものと外周部のものとの中間であり、中心周波数も例えば約13 MHzと約20 MHzの中間の値を取る。

【0167】このように少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体1と異なる体積を有する複数の圧電体1を作製する方法としては、圧電体1の長手軸に垂直な断面積について少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体1と異なる断面積を有するように複数の圧電体1を形成するか、または少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体1と異なる長手方向の長さを有するように複数の圧電体1を形成することなどが挙げられる。

【0168】圧電体1の長手軸に垂直な断面積について

少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体1と異なる断面積を有するように複数の圧電体1を形成する場合には、例えば前述のエッチング用のマスクのパターンとして、少なくとも1つの窓が他の窓と異なる断面積を有するように開けられているパターンを用いれば良い。そして、例えば円柱状の圧電体1の体積が中心部で小さく外周部で大きくなるようにするためには、中心部で例えば20 μm 程度の小さな直径の円形の窓、外周部で例えば300 μm 程度の大きな直径の円形の窓、中心部と外周部の間では例えば20 μm と300 μm の間の大きさ程度の直径の円形の窓を有するようなパターンを用いれば良い。

【0169】少なくとも1つの圧電体が他の圧電体と異なる長手方向の長さを有するような複数の圧電体を形成するには、例えば次のように行う。すなわち、前述のエッチング用のマスクとして、長い圧電体のみをエッチングによって形成するための第1のマスクと、短い圧電体のみをエッチングによって形成するための第2のマスクとを用意する。そして、圧電体ブロック8に、まず、第1のマスクを用いてエッチングを行って第1の圧電体を形成する。次に、同じ圧電体ブロック8に、第2のマスクを用いてエッチングを行って第2の圧電体を形成する。第1の圧電体を形成するエッチング時間は、第2の圧電体を形成するエッチング時間よりも長くする。こうして、同じ圧電体ブロック8に、第1の圧電体が第2の圧電体よりも長手方向の長さが長いような、長手方向の長さの異なる第1および第2の圧電体を形成することができる。

【0170】または、長手方向の長さが等しい圧電体1を有する圧電構造体をエッチングによって作製して圧電体1の隙間に有機充填物2を充填したのち、圧電構造体の背面を研削・研磨するときに、背面が凹面状または凸面状となるように研削・研磨する。

【0171】圧電構造体の背面を凹面状または凸面状とすることにより、圧電構造体の有する圧電体1の長手方向の長さは等しくなくなる。つまり、背面が凹面状であるときには、圧電構造体の中心部に配置された圧電体1の長さは、圧電構造体の外周部に配置された圧電体1よりも短い。また、背面が凸面状であるときには、圧電構造体の中心部に配置された圧電体1の長さは、圧電構造体の外周部に配置された圧電体1よりも長くなる。こうして、少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体1と異なる長手方向の長さを有するような複数の圧電体1を形成することができる。研削・研磨された背面に電極を形成したのち、複合圧電振動子を製造する。

【0172】なお、研削・研磨は、背面だけでなく、背面および前面の両面について行っても良い。つまり、両面とも凹面状または凸面状となるように研削・研磨しても同様の効果が得られる。研削・研磨された両面に電極を形成したのち、複合圧電振動子を製造する。

【0173】なお、上述したように、圧電体1の長手軸に垂直な断面積について少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体1と異なる断面積を有するように複数の圧電体1を形成する方法、および少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体1と異なる長手方向の長さを有するように複数の圧電体1を形成する方法は併用しても良い。

【0174】(2) また、本発明に係る複合圧電振動子は、圧電体1の2つの端面を含む面にそれぞれ全面に形成された2つの電極のうち、少なくとも一方の電極が複数に分割されていることが好ましい。そして、分割された電極ごとに独立して、圧電体1を駆動させるための電圧を印加し、圧電体1からの信号を受信できることが好ましい。

【0175】電極を分割することで、超音波を送受する面積および位置が異なる複数の超音波送受面を、一枚の複合圧電振動子の中に形成することができるため、超音波探触子としての性能を高めることができる。

【0176】例えば、超音波の焦点を切換えることができる。つまり、例えば、分割した電極の一部を使用して複合圧電振動子内の一部の圧電体1のみを駆動すれば、細い超音波ビームを発振させることができ、近距離の対象物との間で超音波を送受することに適する。また、電極のすべてを使用して全部の圧電体1を駆動すれば、強力な超音波ビームを発振させることができ、遠距離の対象物との間で超音波を送受することができる。

【0177】特に、前述した少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体1と異なる体積を有する複数の圧電体1を有する複合圧電振動子において、異なる体積の圧電体1ごとに電極を分割して、分割した電極ごとに独立して信号をやりとりできることが好ましい。

【0178】前述したように、圧電体1の体積が異なると、圧電体1が送受する超音波の周波数が異なる。従って、異なる体積の圧電体1ごとに異なる電極を設けることで、異なる周波数の超音波を一つの複合圧電振動子で送受することが可能となる。

【0179】高い周波数の超音波は分解能は高いが、音波の減衰が大きいために深達度が浅い。一方、低い周波数の超音波は分解能は低いが高深達度。従って、異なる体積の圧電体1ごとに電極を分割して、分割した電極ごとに独立して信号をやりとりすれば、一枚の振動子で多周波数の超音波を送受する機能を有するとともに、音響放射軸を合わせることが容易となる。音響放射軸を合わせることが容易となるため、超音波探触子として観察する際に周波数を切り替えても同位置にある対象物を観察することが可能となる。

【0180】分割する電極の形状および数は、使用用途によって様々に変えることができる。例えば、上述の超音波の焦点を切換える場合には、細い超音波ビームを発振させるための電極を複合圧電振動子の中央部に配置することなどが挙げられる。また、複合圧電振動子の片面

の電極のみを分割しても良いし、両面の電極を分割しても良い。

【0181】例としては、複合圧電振動子の中心部と外周部とで異なる体積の圧電体1を配置し、電極を中心部と外周部とに分割して形成しても良い。

【0182】図14は、前面に形成された電極が15aおよび15bに分割されている複合圧電振動子の一例を示す平面図である。図14においては、見やすくするために、分割された電極15aおよび15bの下に配置されている圧電体1も見えるようにしてある。

【0183】この複合圧電振動子は、少なくとも1つの圧電体1が他の圧電体1と異なる体積を有する複合圧電振動子である。すなわち、小さい体積の圧電体1が中心部に集まり、その周りに大きい体積の圧電体1が配置されている。なお、部材18は、後述する電極端子接続部である。また、複合圧電振動子の図示しない反対側の面には、背面電極が全面に形成されている。

【0184】前面の電極は、中心部の電極15aと、この電極15aの周囲に位置する外周部の電極15bとにギャップにより分割されている。中心部の電極15aは、小さい体積の圧電体1が集まっている部分に対応し、外周部の電極15bは大きな体積の圧電体1が集まっている部分に対応している。

【0185】より詳細には、中心部の電極15aにより駆動される圧電体1は、体積が小さく、例えばアスペクト比が5程度であるような形状をなす。そのため、前述したように、例えば棒の縦振動(N33)モードで振動する。一方、外周部の電極15bにより駆動される圧電体1は、体積が大きく、例えばアスペクト比が0.5以下であるような形状をなす。そのため、例えば板の厚み振動(Nt)モードで振動する。

【0186】従って、N33とNtとが異なる圧電材料を圧電体1に使用すれば、中心部と外周部とでは探触子として送受する周波数が異なる。従って、例えば中心部では約13MHz程度の中心周波数で駆動できるとともに、外周部では約20MHz程度の中心周波数で駆動できる探触子を作製することが可能となる。

【0187】(3) また、本発明に係る複合圧電振動子は、図14に示したように、圧電体1とともに電極端子接続部18を有していることが好ましい。そして、圧電体1の2つの端面とともに電極端子接続部18の少なくとも一部の表面が露出するように、圧電体1間および圧電体1と電極端子接続部18との間に有機充填物が充填されていることが好ましい。また、圧電体1と有機充填物と電極端子接続部とは、一体に形成されていることが好ましい。

【0188】電極端子接続部18を設けることにより、探触子として使用する際に、電極への配線を電極上で直接行うのではなく、電極端子接続部18上で行うことができる。電極端子接続部18上で配線を行うことができ

る結果、電極の下に充填されている有機充填物に熱による損傷を与えることなく、半田やワイヤーボンディングといった結線が容易に行える。

【0189】形成する電極端子接続部18は、1つであっても良いし、複数であっても良い。

【0190】電極端子接続部18を形成する材料としては特に限定されないが、耐熱性の高い材料であることが好ましい。耐熱性が高いことで、結線のさいに電極端子接続部18自体が熱による損傷を受けることを極力抑えることができる。

【0191】耐熱性の高い材料としては、例えばセラミックス材料、金属材料などが挙げられる。絶縁体である必要はない。セラミックス材料としては、例えば、アルミナなどのほか、PZTなどの各種圧電セラミックス材料などが挙げられる。また、金属材料としては例えば銅、ステンレス鋼などが挙げられる。

【0192】なお、電極端子接続部18に圧電セラミックス材料を用いる場合には、有機充填物が充填された圧電構造体に電極を付与するときに、圧電構造体の両面に付与される電極が同じ電極端子接続部18と接続することがないようにする。

【0193】こうすることにより、圧電セラミックスからなる電極端子接続部18に両面の電極から電圧が印加されることがない。電圧が印加されないので、電極付与後の分極処理時に電極端子接続部18には圧電性が付与されない。電極端子接続部18に圧電性が付与されないため、超音波探触子として使用するとき、電極端子接続部18から超音波が発振されることはない。従って、超音波探触子から放射される超音波の音場に影響を与えずに電極端子接続部18を用いることができる。

【0194】圧電構造体の両面に付与される電極が同じ電極端子接続部18と接続することがないようにする方法としては、例えば、以下のようなものが挙げられる。

【0195】すなわち、圧電構造体に2つの電極端子接続部を設けて、圧電構造体の一方の面に付与された電極は第1の電極端子接続部のみと接続され、他方の面の電極は第2の電極端子接続部のみと接続されるように、電極を付与する。

【0196】以上、説明した本発明に係る複合圧電振動子を用いて製造する超音波探触子について、以下に説明する。

【0197】図15は、本発明に係る複合圧電振動子を用いて製造した超音波探触子の先端部の一例を示す概略断面図である。

【0198】図15において、超音波探触子は、以下のような構造となっている。つまり、導電性を有するハウジング19の内面に固着された絶縁筒20内に、背面負荷材21が充填されている。背面負荷材21の前面に、曲率を持たせた複合圧電振動子22が固定されている。さらに、音響放射面となる複合圧電振動子22の前面に

音響整合層 23 が取付けられている。この音響放射面側である複合圧電振動子 22 の前面は、導電性樹脂、または半田とリード線 24 などによってハウジング 19 に結線されている。シグナル側となる複合圧電振動子 22 の背面には、外部からのリード線 25 の信号線が低温半田もしくは導電性樹脂 26 により結線されている。リード線 25 の GND (グランド) 線は、またハウジング 19 にも低温半田もしくは導電性樹脂 26 により結線されている。

【0199】図 15 に示した超音波探触子においては、複合圧電振動子 22 はドライエッチング法を用いて製造されている。そのため、前述したように、複合圧電振動子 22 は微細で高密度に形成され圧電体と有機充填物との間の密着性が高いため、超音波探触子の分解能および耐久性が向上している。

【0200】以上、本発明に係る実施形態に基づいて説明してきたが、本明細書には以下の発明が含まれる。

【0201】エッチングを繰り返して行うことを特徴とする圧電構造体の製造方法。

【0202】エッチングの途中で圧電体の試料をエッチング反応容器から取り出し、この試料に再度マスクを形成したのちエッチング反応容器へ戻して、再びエッチングを行うことを特徴とする圧電構造体の製造方法。

【0203】圧電体が圧電単結晶であることを特徴とする圧電構造体の製造方法および複合圧電振動子。

【0204】プラズマを用いたエッチング時に使用するマスクが導電材料からなり、該マスクが複合圧電振動子の電極を兼ねることを特徴とする圧電構造体の製造方法および複合圧電振動子。

【0205】圧電体がリラクサー系強誘電体からなることを特徴とする圧電構造体の製造方法、および複合圧電振動子。ここで、リラクサー系強誘電体とは、一般的に鉛 (Pb) を含むペロブスカイト化合物、すなわち $Pb(B'B'')O_3$ の組成式 (ここで、 B' はマンガン (Mg) や亜鉛 (Zn) などの 2 価または 3 価の陽イオンであり、 B'' はニオブ (Nb) やタングステン (W) などの 5 価または 6 価の陽イオンである) を有する材料である。リラクサー系強誘電体は、PZT 系材料よりも電気機械結合係数が大きく、圧電体として用いたときに複合圧電振動子の圧電特性が向上する。

【0206】複合圧電振動子の有する第 1 および第 2 電極のうち少なくとも一方の電極が分割されていることを特徴とする複合圧電振動子。

【0207】圧電体とともに外部と配線可能な電極端子接続部を有し、圧電体の両端面とともに電極端子接続部の少なくとも一部の表面が露出するように圧電体間および圧電体と電極端子接続部の間に有機充填物が充填され、各圧電体の両端面を含む平面の少なくとも一方の平面が電極端子接続部と接続するように、各圧電体の両端面を含む平面に電極が形成されていることを特徴とする

複合圧電振動子。

【0208】

【発明の効果】以上、詳述したように、本発明に係る圧電構造体の製造方法によって微細に加工された圧電構造体を製造することが可能となる。また、本発明に係る複合圧電振動子によって、樹脂と圧電体との間の密着性が高く微細で高密度化された複合圧電振動子を提供することができる。これらの結果、複合圧電振動子を用いた超音波探触子の耐久性および分解能が向上する等の効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る複合圧電振動子の一例を示す概略斜視図および平面図。

【図 2】本発明に係る圧電体の一例を示す概略斜視図。

【図 3】本発明に係る圧電体の他の例を示す概略斜視図。

【図 4】本発明に係る圧電体の他の例を示す概略斜視図。

【図 5】本発明に係る圧電体の他の例を示す概略斜視図。

【図 6】本発明に係る圧電構造体の一例を示す概略斜視図。

【図 7】本発明に係る側面にフッ化物が形成された圧電体の一例を示す概略斜視図。

【図 8】本発明に係る複合圧電振動子の製造方法の一例を示す概略工程図。

【図 9】本発明に係るエッチング工程により形成された側面にフッ化物が形成された開口部を示す概略断面図。

【図 10】本発明に係る複合圧電振動子の製造方法の他の例を示す概略工程図。

【図 11】本発明に係る複合圧電振動子の製造方法の他の例を示す概略工程図。

【図 12】本発明に係る複合圧電振動子の製造方法の他の例を示す概略工程図。

【図 13】本発明に係る複合圧電振動子の他の例を示す概略平面図。

【図 14】本発明に係る複合圧電振動子の他の例を示す概略平面図。

【図 15】本発明に係る超音波探触子の先端部の一例を示す概略断面図。

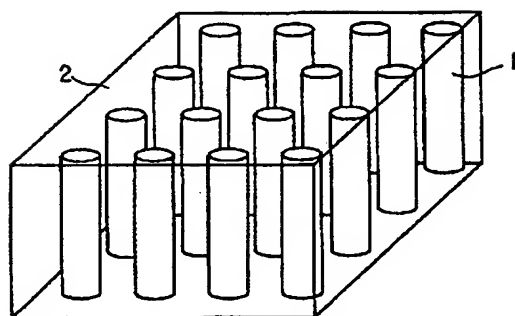
【符号の説明】

- 1…圧電体
- 2…有機充填物
- 3…フッ化物
- 4…隙間
- 5…孔
- 6…溝
- 7、8…圧電体ブロック
- 9…電極
- 10、11…フォトレジスト

1 2、1 3…ニッケル膜
 1 4…開口部
 1 5、1 5 a、1 5 b…電極
 1 6…マスキング用の膜
 1 7…背面電極
 1 8…電極端子接続部
 1 9…ハウジング

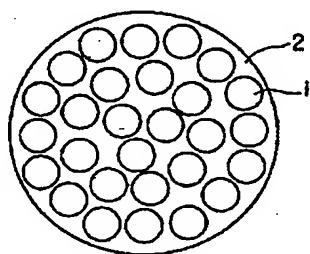
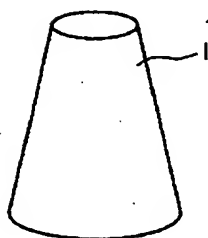
2 0…絶縁筒
 2 1…背面負荷材
 2 2…複合圧電振動子
 2 3…音響整合層
 2 4、2 5…リード線
 2 6…導電性樹脂

【図 1】



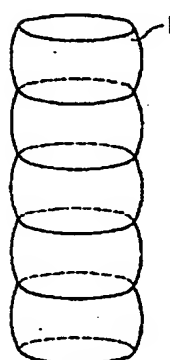
(a)

【図 2】

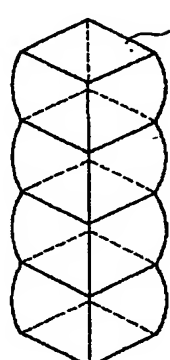


(b)

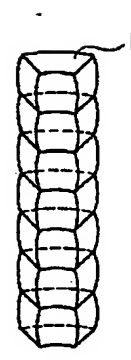
【図 4】



(a)

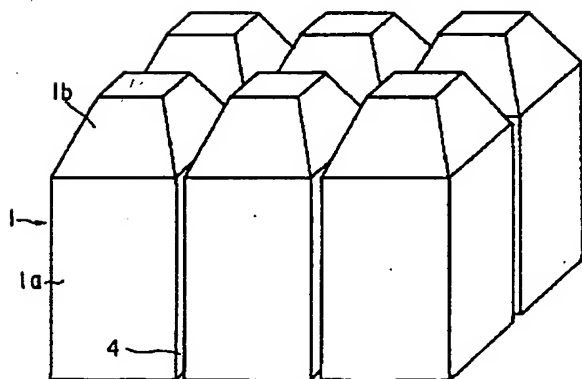


(b)

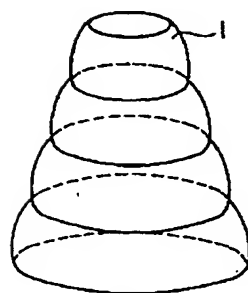


(c)

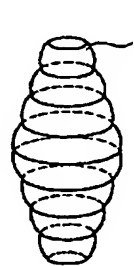
【図 3】



【図 5】



(a)

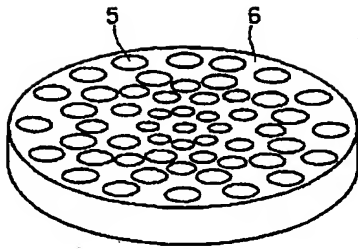


(b)

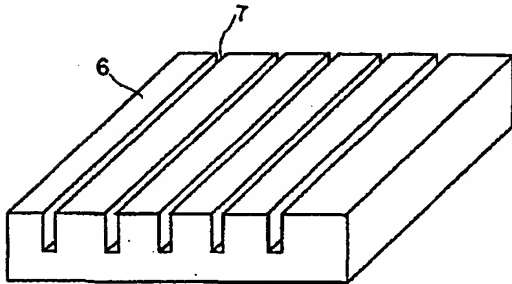


(c)

【図6】

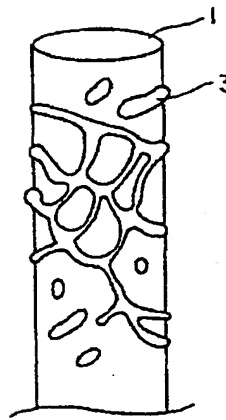


(a)

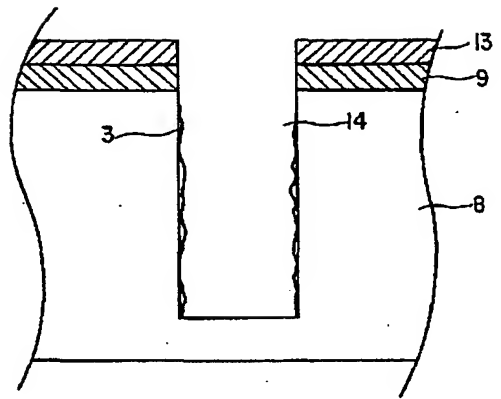


(b)

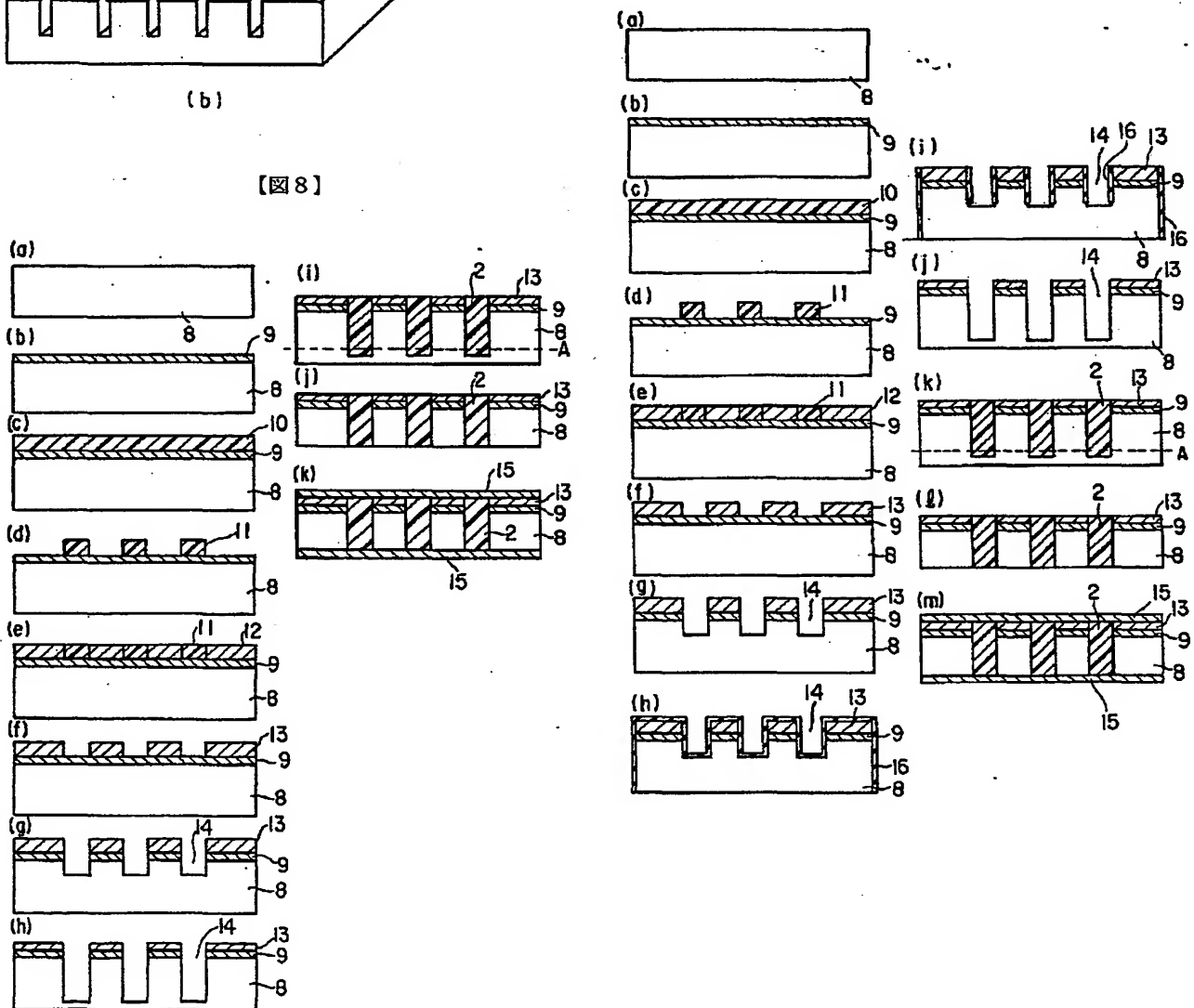
【図7】



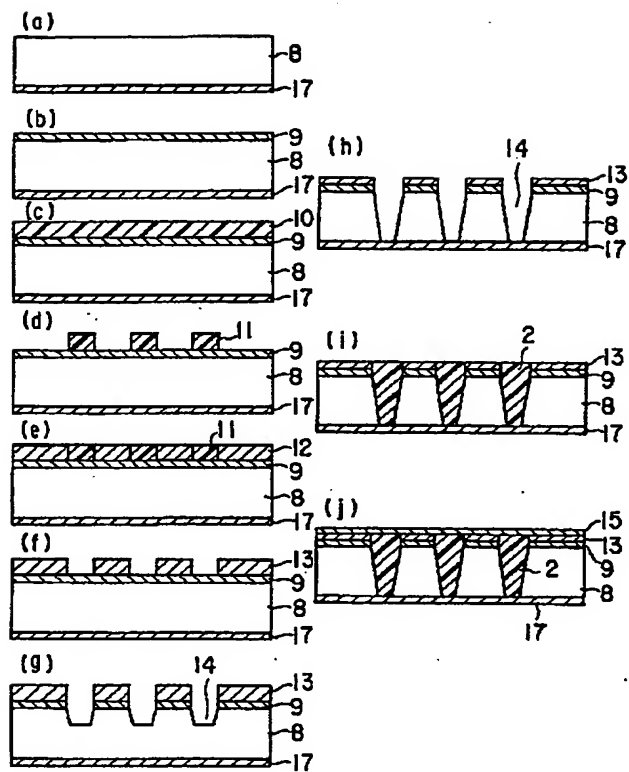
【図9】



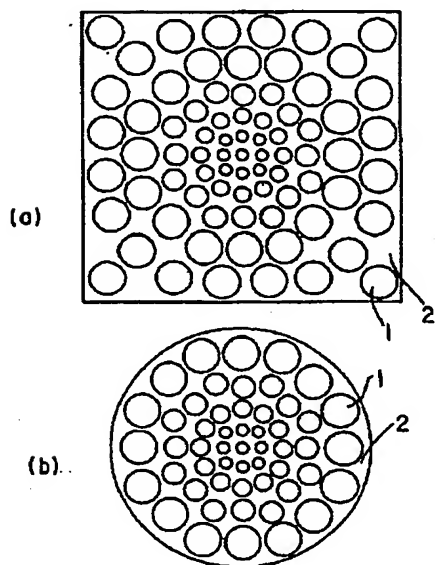
【図10】



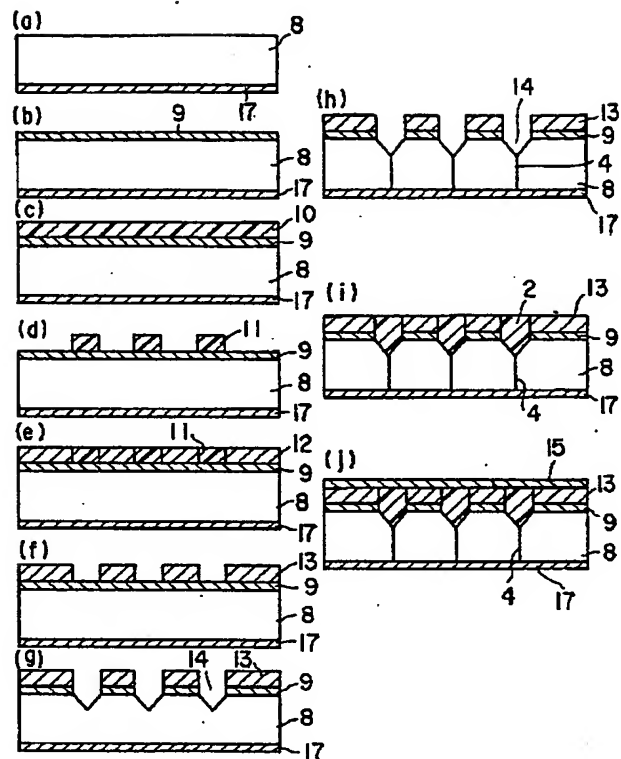
【図11】



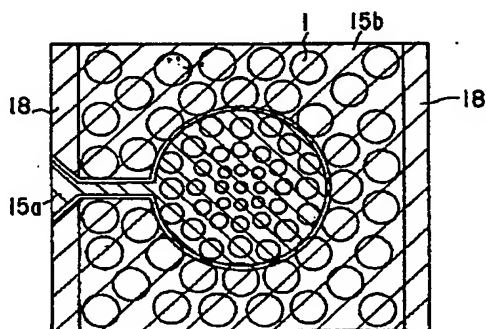
【図13】



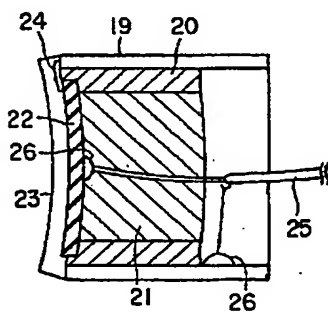
【図12】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ド (参考)
H 0 3 H	3/02	H 0 1 L 41/08	C
H 0 4 R	17/00	41/22	Z
// H 0 1 L	21/3065	21/302	F

(72)発明者	舟窪 朋樹	(72)発明者	江刺 正喜
	東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ		宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉無番地 東
	ンパス光学工業株式会社内		北大学内
(72)発明者	沢田 之彦	(72)発明者	王 詩男
	東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ		宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉無番地 東
	ンパス光学工業株式会社内		北大学内